

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 197 02 753 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 21/00**  
G 02 B 26/10

21 Aktenzeichen: 197 02 753.9  
22 Anmeldetag: 27. 1. 97  
43 Offenlegungstag: 30. 7. 98

DE 197 02 753 A 1

71 Anmelder:  
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

72 Erfinder:  
Schöppe, Günter, 07745 Jena, DE; Wilhelm, Stefan,  
Dipl.-Ing., 07743 Jena, DE; Simon, Ulrich, Dr., 07743  
Jena, DE; Heinz, Hartmut, Dipl.-Phys., 07749 Jena,  
DE; Gröbler, Bernhard, Dr.rer.nat., 07747 Jena, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Laser-Scanning-Mikroskop
- 57 Anordnung zur Einkopplung von Strahlung, vorzugsweise Laserstrahlung in einen Scankopf mit einer mindestens zweidimensional ablenkenden Scaneinheit, wobei die Strahlung über ein Mikroskopobjektiv auf ein Objekt fokussiert wird, über mindestens eine Lichtleitfaser, die den Scankopf angekoppelt ist, wobei dem Faserende am Scankopf eine Kollimationsoptik zur Kollimierung der am Faserende divergent austretenden Strahlung nachgeordnet ist, wobei für eingekoppelte Strahlung mehrerer Wellenlängen über eine Faser und/oder für unterschiedliche chromatische Fehler eine wellenlängenabhängige Verschiebung der Kollimationsoptik erfolgt.

DE 197 02 753 A 1

Handbook of Biological Confocal Microscopy, Second Edition, Plenum Press New York and London 1995 S. 519, Fig. 6: Fasereinkopplungsoptik S. 595, fig. 14: Telezentrisches System für mehrere Detektionsstrahlengänge US 5283433 Einkoppeloptik für Detektionsstrahlengänge DE 43 23 129 A1, Spalte 6: zentrierbare und bezüglich ihres Durchmessers variierbare Konfokalblenden US 5444528, US 5377003, US 5317379, US 5216484: AOTF US 5081350, EP 283256 A1, WO 90/00754: Faserverbindung zwischen Laser und Scaneinheit.

Darstellung der Wirkungsweise und Vorteile erfindungsgemäßen Lösungen anhand der Ausführungsbeispiele gemäß der schematischen Darstellungen Fig. 1–6

Es zeigen:

**Fig. 1** Eine modulare Anordnung aus Mikroskop M, Scankopf S und Lasereinheit,

**Fig. 2** Eine Darstellung des Strahlverlaufs im Scankopf S,

**Fig. 3** Die optische Wirkung der verschieblichen Kollimationsoptik 16,

**Fig. 4** Die optische Wirkung der in Richtung der optischen Achse verschieblichen Pinholes,

**Fig. 5** Die optische Wirkung der senkrecht t zur optischen Achse verschieblichen Pinholes bei verschiedenen reflektierenden Strahlteilern,

**Fig. 6** Scankopf S, Mikroskop M sowie eine Faser hinter dem Pinhole im Detektionsstrahlengang

1. In **Fig. 1** sind schematisch eine Mikroskopeinheit M und ein Scankopf S dargestellt, die eine gemeinsame optische Schnittstelle über eine Zwischenabbildung z gemäß **Fig. 2** ausweisen.

Der Scankopf S kann sowohl an den Phototubus eines aufrechten Mikroskopes sowie auch vorteilhaft an einen seitlichen Ausgang eines inversen Mikroskopes.

In **Fig. 1** ist ein zwischen Auflichtscan und Durchlichtscan mittels eines schwenkbaren Spiegels 14 umschaltbarer mikroskopischer Strahlengang dargestellt, mit Lichtquelle 1, Beleuchtungsoptik 2, Strahlteiler 3, Objektiv 4, Probe 5, Kondensor 5, Lichtquelle 7 Empfängeranordnung 8, einer ersten Tubuslinse 9, einem Beobachtungsstrahlengang mit einer zweiten Tubuslinse 10 und einem Okular 11 sowie einem Strahlteiler zur Einkopplung des Scanstrahls dargestellt.

Ein Lasermodul 13.1, 13.2 nimmt die Laser auf und ist über Lichtleitfasern 14.1, 14.2 mit der Lasereinkoppeleinheit des Scankopfes S verbunden.

Die Einkopplung der Lichtleitfasern 14.1, 14.2 erfolgt mittels einer verschieblichen Kollimationsoptik 16, auf die noch näher eingegangen wird, sowie Strahlumlenkelementen 17.1, 17.2. Mittels eines teildurchlässigen Spiegels 18 wird ein Überwachungsstrahlengang in Richtung einer Monitordiode 19 der, vorteilhaft auf einem nicht dargestellten drehbaren Filterrad Linienfilter 21 sowie Neutralfilter 20 vorgeordnet sind, ausgeblendet.

Die eigentliche Scaneinheit besteht aus Scanningobjektiv 22, Scanner 23, Hauptstrahlteiler 24 und einer gemeinsamen Abbildungsoptik 25 für Detektionskanäle 26.1–26.4 Ein Umlenkprisma 27 hinter der Abbildungsoptik 25 spiegelt die vom Objekt 5 kommende Strahlung in Richtung dichroitischen Strahlteiler 28 im konvergenten Strahlengang der Abbildungsoptik 25, denen in Richtung und senkrecht zur optischen Achse verstellbare und in ihrem Durchmesser veränderbare Pinholes 29, individuell für jeden Detektionskanal

sowie Emissionsfilter 30 und geeignete Empfängererelemente 31 (PMT) nachgeordnet sind.

Die Strahlteiler 27, 28 können vorteilhaft, wie in **Fig. 5** schematisch dargestellt, als Teilerrad mit mehreren Positionen, motorisch durch Schrittmotoren umschaltbar, ausgebildet sein.

2. Vorteilhaft erfolgt eine Einkopplung von UV-Strahlung in Glasfaser 14.1, vorzugsweise einer Single-Mode-Glasfaser mittels eines AOTF, als Strahlblenker, d. h. wenn Strahl nicht auf Fasereingang fallen soll, wird er mittels des AOTF vom Fasereingang, beispielsweise in Richtung einer nicht dargestellten Lichtfalle, abgelenkt.

Die Einkoppeloptik 33 zur Einkopplung der Laserstrahlung weist zur Einkopplung nicht dargestellte Linsensysteme auf, deren Brennweite durch den Strahlquerschnitt der Laser und die für die optimale Einkopplung erforderliche numerische Apertur festgelegt ist.

Im Lasermodul 13.2, sind Einzel- und Multiwellenlängenlaser vorgesehen, die einzeln oder gemeinsam über einen AOTF in eine oder mehrere Fasern eingekoppelt werden.

Weiterhin kann die Einkopplung auch über mehrere Fasern gleichzeitig erfolgen, deren Strahlung mikroskopseitig nach Durchlaufen einer Anpaßoptik durch Farbvereiniger gemischt wird.

Auch die Mischung der Strahlung verschiedener Laser am Fasereingang ist möglich und kann anhand der schematisch dargestellten, auswechselbar und schaltbar ausgebildeten Teilerspiegel 39 erfolgen.

3. Die in **Fig. 2** und 3 divergent aus dem Faserende der Fasern 14.1, 2 an der Scaneinheit S austretende Laserstrahlung wird mittels der Kollimationsoptik 16 auf einen Unendlichstrahl kollimiert.

Die erfolgt vorteilhaft mit einer einzelnen Linse, die durch Verschiebung entlang der optischen Achse mittels einer über eine zentrale Ansteuereinheit 34 ansteuerbare Steuereinheit 37 eine Fokussierungsfunktion hat, indem ihr Abstand zum Ende der Lichtleitfaser 14.1, 2 an der Scaneinheit erfindungsgemäß veränderbar ist.

Die Wirkung Verschiebung der Kollimationsoptik 16 ist schematisch in **Fig. 3a** und **3b** dargestellt.

In **Fig. 3a** ist der Strahlverlauf für zwei unterschiedliche Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  dargestellt. Da für eine polychromatische Lichtquelle mittels einer feststehenden Abbildungsoptik in eine Bildebene nur für eine mittlere Wellenlänge des Spektralbereiches abgebildet wird, wird mittels der Ansteuereinheit 37 der Abstand von Faserende und Kollimationsoptik verändert. Für die beiden dargestellten Wellenlängen ergeben sich die Linsenstellungen S1, S2, um für beide Wellenlängen die gleiche Fokusslage zu gewährleisten.

Dadurch wird vorteilhaft bewirkt, daß im Falle der Fluoreszenzmikroskopie die Fluoreszenzstrahlung im Fokus des auf unendlich eingestellten Objektives 4 entsteht und die Anregungsstrahlung in dieselbe Ebene fokussiert wird.

Es können auch mehrere Fasern und Faserkollimatoren zur Einstellung unterschiedlicher chromatischer Kompensationen für unterschiedliche Anregungswellenlängen Verwendung finden. Weiterhin kann eine hierdurch eine chromatische Korrektur der eingesetzten Optik, insbesondere der Mikroskopobjektive erfolgen.

Durch mehrere Einkoppelfasern und Kollimationsoptiken für unterschiedliche Wellenlängen können unabhängig verschiedene chromatische Kompensationen eingestellt werden.

Die variable Kollimation durch Verschiebung der Linse 16 kann auch zur Realisierung eines z-scans verwendet werden, indem mittels der verschieblichen Kollimatorlinse 16 der Fokus im Präparat in z-Richtung verschoben wird und ein optischer Schnitt nach dem anderen detektiert wird. Dies

ist in Fig. 3b für eine Wellenlänge  $\lambda$  dargestellt, wobei den Stellungen S1, S2 die Fokuslagen F1, F2 entsprechen.

4. In Fig. 2 dient eine Monitordiode 19, die auch, hier nicht dargestellt, eine vorgesetzte Fokussierlinse aufweisen kann wirkt in Verbindung mit einem linien- oder bereichsselektiven Filterrad oder Filterschieber 21, angesteuert von einer Steuereinheit 36, zur permanenten Überwachung der in das Scanmodul eingekoppelten Laserstrahlung, insbesondere um die Leistung in einer bestimmten Laserlinie isoliert zu kontrollieren und gegebenenfalls mittels eines Regelsignales der Ansteuereinheit 34 zu stabilisieren. Die Detektion mittels der Monitordiode 19 erfaßt das Laserrauschen und Variationen aufgrund des mechanischoptischen Übertragungssystems.

Aus der detektierten momentanen Laserleistung kann dabei ein Fehlersignal abgeleitet werden, das on-line direkt auf den Laser oder einen dem Laser nachgeschalteten Intensitätsmodulator (ASOM, AOTF, EOM, Shutter) zwecks der Stabilisierung der in das Scanmodul eingestrahlichten Laserleistung zurückwirkt.

Durch die Ansteuerung der Filtereinheit 21 kann somit eine wellenlängenweise Stabilisierung der Intensität und Laserleistungskontrolle erfolgen.

Durch eine Verbindung zur Detektion 31 (PMT) und jeweils zur zentralen Ansteuereinheit kann durch Bildung von Signalquotienten/oder Signalsubtraktion des Detektionssignales und des Monitorsignales der Diode 19 eine Rauschverminderung bewirkt werden, indem das entsprechende Sensorsignal eines Detektionskanals pixelweise als Pixel-Bildinformation auf das Signal der Monitordiode normiert wird (z. B. Division), um auf diese Weise Intensitätsfluktuationen im Bild zu verringern.

5. In Fig. 1 sind schematisch in verschiedener Weise verstellbare Pinholes 29 in den Detektionskanälen 26.1–26.4 dargestellt. Sie können insbesondere senkrecht zur optischen Achse oder in Richtung der optischen Achse verschiebbar angeordnet sowie in bekannter Weise in ihrem Durchmesser, beispielsweise mittels Scherenmechanismus oder Katzenauge veränderbar sein. Die Verstellung der Pinholedurchmesser gestattet ihre Anpassung an die Durchmesser der Airyscheibchen bei unterschiedlichen Beobachtungswellenlängen.

In Fig. 4 und 5 sind schematisch Ansteuermittel 38 für die Verstellung oder Verschiebung der einzelnen Pinholes dargestellt, die Datenleitungen zur zentralen Ansteuereinheit 34 aufweisen.

Die ansteuerbare Verschiebbarkeit der Pinholes in Richtung der optischen Achse ist in Fig. 4 schematisch dargestellt. Sie ist für den Ausgleich von optischen Fehlern, insbesondere chromatischen Längsabberationen, vorteilhaft.

Diese Fehler können beim Scanobjektiv 22, aber auch beispielsweise bei der für die Detektionskanäle gemeinsamen Abbildungsoptik 25 auftreten.

Für unterschiedliche Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ergeben sich durch chromatische Längsabweichungen unterschiedliche Fokuslagen, die unterschiedlichen Pinholelagen P1, P2 entsprechen. Bei Auswechslung abbildender Optik, beispielsweise des Mikroskopobjektives, kann bei bekannten chromatischen Längsfehler der eingesetzten Optik über die Ansteuereinheit 34 und Steuer- und Verschiebemittel 38 eine automatische Verschiebung der Pinholes entlang der optischen Achse erfolgen. Es kann eine genaue Einstellung auf die verwendete Anregungswellenlänge erfolgen.

Durch eine gemeinsame Abbildungsoptik 25 für alle Detektionskanäle, die vorteilhaft nur aus einem optischen Glied besteht, wird das vom Scanobjektiv 22 erzeugte, im Unendlichen liegende Bild in die Pinholeebene abgebildet. Die gemeinsame Abbildungsoptik 25 bewirkt eine verbes-

serte Transmissionseffizienz gegenüber bekannten Lösungen. Im Zusammenwirken der Abbildungsoptik mit individuell verstellbaren Pinholes in den einzelnen Detektionskanälen kann dennoch eine genaue Justierung erfolgen.

6. Im Strahlengang können unterschiedliche dichroitische Strahlteiler 28 eingesetzt werden, je nach verwendeter Wellenlänge, um nur diese zu sperren und einem Detektionsstrahlengang zuzuführen.

Es sind daher (nicht dargestellte) Teilerrevolver oder Teileräder in verschiedenen Strahlengängen zur Einschwenkung unterschiedlicher möglichst kleiner Teiler vorgesehen insbesondere Teileräder, deren Radachse in 45 Grad gegen die optische Achse geneigt ist, so daß die Teiler immer nur in der Reflexionsebene verschoben werden.

Da die auf den Teilerädern angebrachten Teiler 28 nicht genau gleich justiert sein können oder Schwankungen innerhalb ihrer Justierung oder Standard – Keiltoleranzen unterschiedliche Strahlablenkwinkel verursachen können, erfolgt gemäß der Darstellung in Fig. 5 eine Verschiebung des jeweiligen Pinholes aber Steuereinheit 38 senkrecht zur optischen Achse entsprechend der Strahlablenkung.

Hier sind schematisch zwei durch unterschiedliche Stellungen von Teilern 28.1, 28.2 auf einem nicht dargestellten durch eine Steuereinheit 36 angetriebenen Teilerad dargestellt, die senkrecht zur optischen Achse verschobene Fokuslagen in der Ebene der Pinholes 29 bewirken.

Hierbei kann mittels der Ansteuereinheit 34 über die Steuereinheiten 36, 38 eine Kopplung der Stellung des Pinhole 29 mit der Teileradstellung für die Teiler 28 erfolgen, d. h. für alle Teilerkonfigurationen verschiedener Teilerrevolver ist eine optimale Pinholeposition abgespeichert und abrufbar. Dies betrifft nicht nur die Stellung eines bestimmten Teilerades, sondern auch die Stellung mehrerer Teileräder, so daß immer die jeweils optimale Pinholeposition automatisch eingestellt wird.

7. In Fig. 6 ist schematisch dargestellt, wie am Pinhole 29, am Ausgang zum PMT hinter dem Pinhole, eine Lichtleitfaser 40 angesetzt werden kann, um durch das Pinhole des Detektionskanals die Strahlung zu einem externen Sensor 31 zu leiten.

Dies erfolgt vorteilhaft ohne zusätzliche Koppeloptik dicht hinter dem Pinhole mit Hilfe der Lichtleitfaser 38.

Da die Pinholeöffnung verstellbar ist, wird das Austauschen von Fasern mit unterschiedlichen Kerndurchmessern stark vereinfacht, indem die Pinholegröße an den Kerndurchmesser angepaßt wird.

#### Bezugszeichenliste

- 50 M Mikroskop
- S Scankopf
- 1 Lichtquelle
- 2 Beleuchtungsoptik
- 3 Strahlteiler
- 55 4 Objektiv
- 5 Probe
- 6 Kondensor
- 7 Lichtquelle
- 8 Empfänger
- 60 9 Tubuslinse
- 10 Tubuslinse
- 11 Okular
- 12 Strahlteiler
- 13.1, 13.2 Laser
- 14 Lichtleitfasern
- 15 schwenkbarer Spiegel
- 16 Kollimationsoptik
- 17 Strahlumlenkelement

18 teildurchlässiger Spiegel  
 19 Monitordiode  
 20 Neutralfilter  
 21 Linienfilter  
 22 Scanobjektiv  
 23 Scanner  
 24 Hauptstrahlteiler  
 25 Abbildungsoptik  
 26.1–26.4 Detektionskanäle  
 27 Umlenkprisma  
 28, 28.1, 28.2 dichroitische Strahlteiler  
 29 verstellbare Pinholes (Lochblenden)  
 30 Emissionsfilter  
 31 PMT  
 32 AOTF  
 33 Einkoppeloptik  
 34 zentrale Ansteuereinheit  
 35, 36, 37, 38: lokale Ansteuereinheiten für Diode 19, Filter-  
 wechsler 21, Kollimatoroptik 16, verstellbare Pinholes 29  
 39 Strahlteiler  
 40 Lichtleitfaser  
 81, S2, F1, F2 Fokussstellungen  
 P1, P2 Pinholestellungen

# Patentansprüche

1. Anordnung zur Einkopplung von Strahlung vorzugsweise Laserstrahlung in einen Scankopf mit einer mindestens zweidimensional ablenkenden Scaneinheit wobei die Strahlung über ein Mikroskopobjektiv auf ein Objekt fokussiert wird, über mindestens eine Lichtleitfaser, die den Scankopf angekoppelt ist, wobei dem Faserende am Scankopf eine Kollimationsoptik zur Kollimierung der am Faserende divergent austretenden Strahlung nachgeordnet ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Kollimationsoptik zur Veränderung ihres Abstands zum Faserende verschieblich ausgebildet ist.
3. Verfahren zum Betrieb einer Anordnung nach Anspruch 2, wobei für eingekoppelte Strahlung mehrerer Wellenlängen über eine Faser und/oder für unterschiedliche chromatische Fehler eine wellenlängenabhängige Verschiebung der Kollimationsoptik erfolgt.
4. Verfahren zum Betrieb einer Anordnung nach Anspruch 2, wobei für eine Wellenlänge durch Verschiebung der Kollimationsoptik eine Verstellung der Fokusslage in einer zur zweidimensionalen Ablenkung senkrechten Richtung erfolgt.
5. Anordnung zur Einkopplung von Strahlung, vorzugsweise Laserstrahlung in einen Scankopf mit einer mindestens zweidimensional ablenkenden Scaneinheit, wobei die Strahlung über ein Mikroskopobjektiv auf ein Objekt fokussiert wird, über mindestens eine Lichtleitfaser, die an den Scankopf angekoppelt ist, wobei zwischen einem UV-Laser und einem Lichtleitereingang ein AOTF angeordnet ist.
6. Verfahren zum Betrieb einer Anordnung nach Anspruch 5, wobei durch Ansteuerung des AOTF die UV-Strahlung auf den Lichtleitereingang gelenkt oder an diesem vorbei gelenkt wird.
7. Anordnung zur Überwachung der in einen Scankopf eingekoppelten Laserstrahlung, mittels eines ersten Detektionselementes, auf das ein Teil der eingekoppelten Strahlung über einen Strahlteiler gelenkt wird.
8. Anordnung nach Anspruch 7, wobei dem Detektionselement im Strahlengang auswechselbare Filter zur wellenlängenabhängigen Überwachung der Laserstrahlung vorgeordnet sind.

9. Anordnung nach Anspruch 7 oder 8, wobei das Detektionssignal ein Regelsignal zur Einstellung der Laserleistung, der Laserintensität oder anderer Parameter der eingekoppelten Strahlung ist.

10. Verfahren zum Betrieb einer Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 7–9, wobei gleichzeitig mit dem Detektionssignal des ersten Detektionselementes das Detektionssignal mindestens eines zweiten Detektionselementes aufgenommen wird, das sich im Abbildungsstrahlengang zur Abbildung der vom gescannten Objekt stammenden Strahlung befindet.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das mit dem zweiten Detektionselement erfaßte Signal und das mit dem ersten Detektionselement erfaßte Signal zur Unterdrückung von Störsignalen und Signalschwankungen mathematisch, vorzugsweise durch Division oder Subtraktion, miteinander verknüpft werden, subtrahiert oder

12. Mikroskop mit einer Scaneinheit, der eine Detektionseinheit zur Erfassung der vom gescannten Objekt stammenden Strahlung nachgeordnet ist, die mehrere konfokale Detektionskanäle aufweist, in denen einstellbare Konfokalblenden in einer zur Fokusebene des Mikroskopobjektives konjugierten Ebene angeordnet sind, wobei zur Abbildung des vom Mikroskopobjektives erzeugten Bildes in die Ebene der Konfokalblenden eine gemeinsame Optik für die Detektionskanäle vorgesehen ist, die vorzugsweise aus einem einzigen optischen Glied, vorteilhaft aus einer Einzellinse besteht.

13. Mikroskop mit einer Scaneinheit, der eine Detektionseinheit zur Erfassung der vom gescannten Objekt stammenden Strahlung nachgeordnet ist, die über Strahlteiler in mehrere konfokale Detektionskanäle aufgeteilt ist, in denen in Richtung der optischen Achse verschiebbare Konfokalblenden in einer zur Fokusebene des Mikroskopobjektives konjugierten Ebene angeordnet sind.

14. Mikroskop mit einer Scaneinheit, der eine Detektionseinheit zur Erfassung der vom gescannten Objekt stammenden Strahlung nachgeordnet ist, die über Strahlteiler in mehrere konfokale Detektionskanäle aufgeteilt ist, in denen senkrecht zur optischen Achse verschiebbare Konfokalblenden in einer zur Fokusebene des Mikroskopobjektives konjugierten Ebene angeordnet sind.

15. Anordnung nach Anspruch 14, wobei mindestens ein Strahlteiler als Strahlteilerwechsler ausgebildet ist.

16. Verfahren zum Betrieb einer Anordnung nach Anspruch 15, wobei durch Steuerungsmittel eine zur optischen Achse senkrechte Verschiebung mindestens einer Lochblende in Abhängigkeit von der Stellung mindestens eines Strahlteilerwechslers erfolgt.

17. Verfahren zum Betrieb einer Anordnung nach Anspruch 13, wobei die Verschiebung der Lochblende zur Einstellung auf eine bestimmte Wellenlänge und/oder zum Ausgleich chromatischer Fehler abbildender Elemente des Mikroskopes und/oder der Scaneinheit erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei beim Wechsel von abbildenden Elementen, insbesondere des Mikroskopobjektives durch Steuerungsmittel eine Verschiebung der Lochblende in eine für das jeweilige abbildende Element vorgespeicherte Stellung erfolgt.

19. Mikroskop mit einer Scaneinheit, der eine Detektionseinheit zur Erfassung der vom gescannten Objekt stammenden Strahlung nachgeordnet ist, die mehrere konfokale Detektionskanäle aufweist, in denen einstellbare Konfokalblenden in einer zur Fokusebene des

Mikroskopobjektives konjugierten Ebene angeordnet sind wobei mindestens einer Konfokalblende eine Lichtleitfaser zur Übertragung der Strahlung auf mindestens ein Detektionselement unmittelbar nachgeordnet ist.

5

20. Anordnung nach Anspruch 2, wobei für verschiedene Wellenlängen und/oder Wellenlängenbereiche eine Einkopplung über mehrere Fasern erfolgt und jeweils verschiebbliche Kollimationsoptiken dem Faser-  
ausgang nachgeordnet sind.

10

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

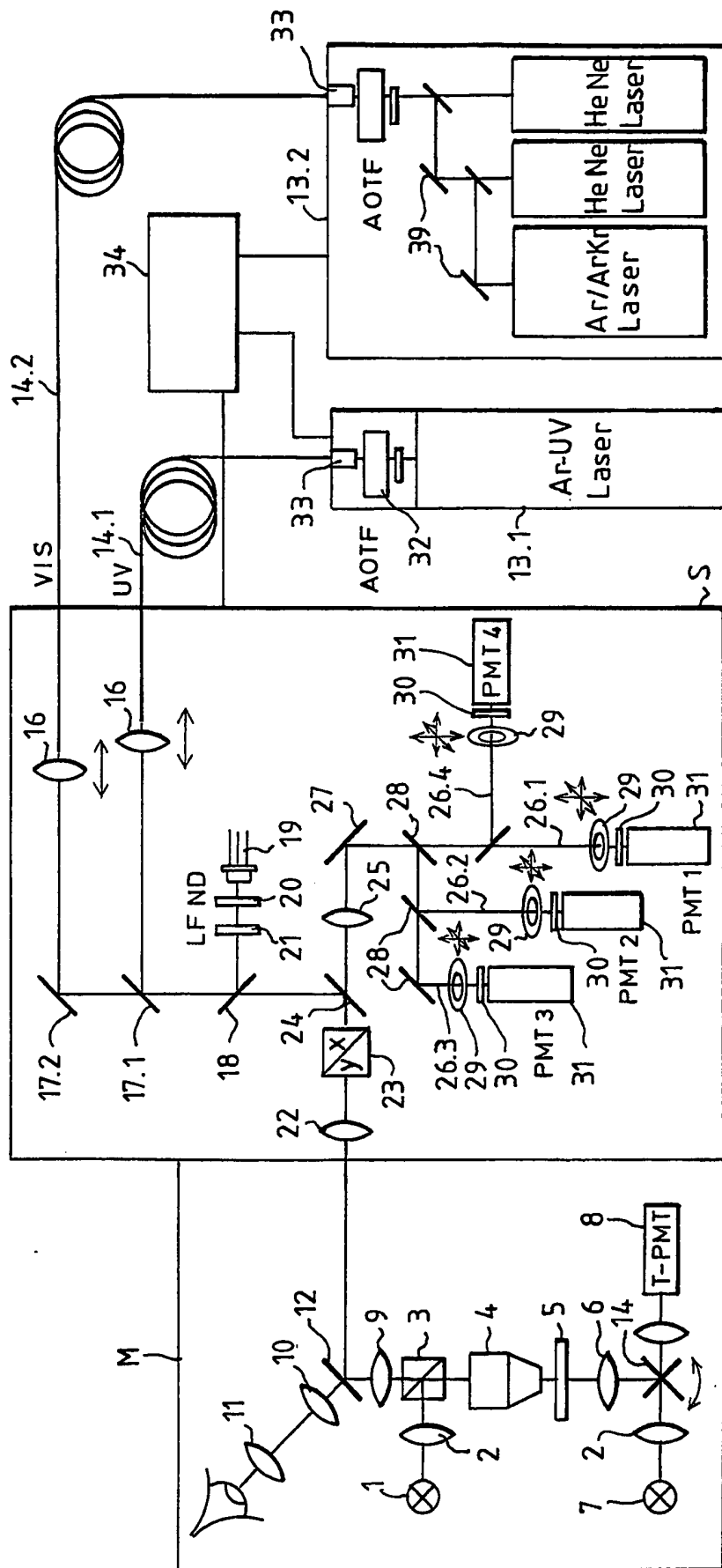
50

55

60

65

FIG. 1



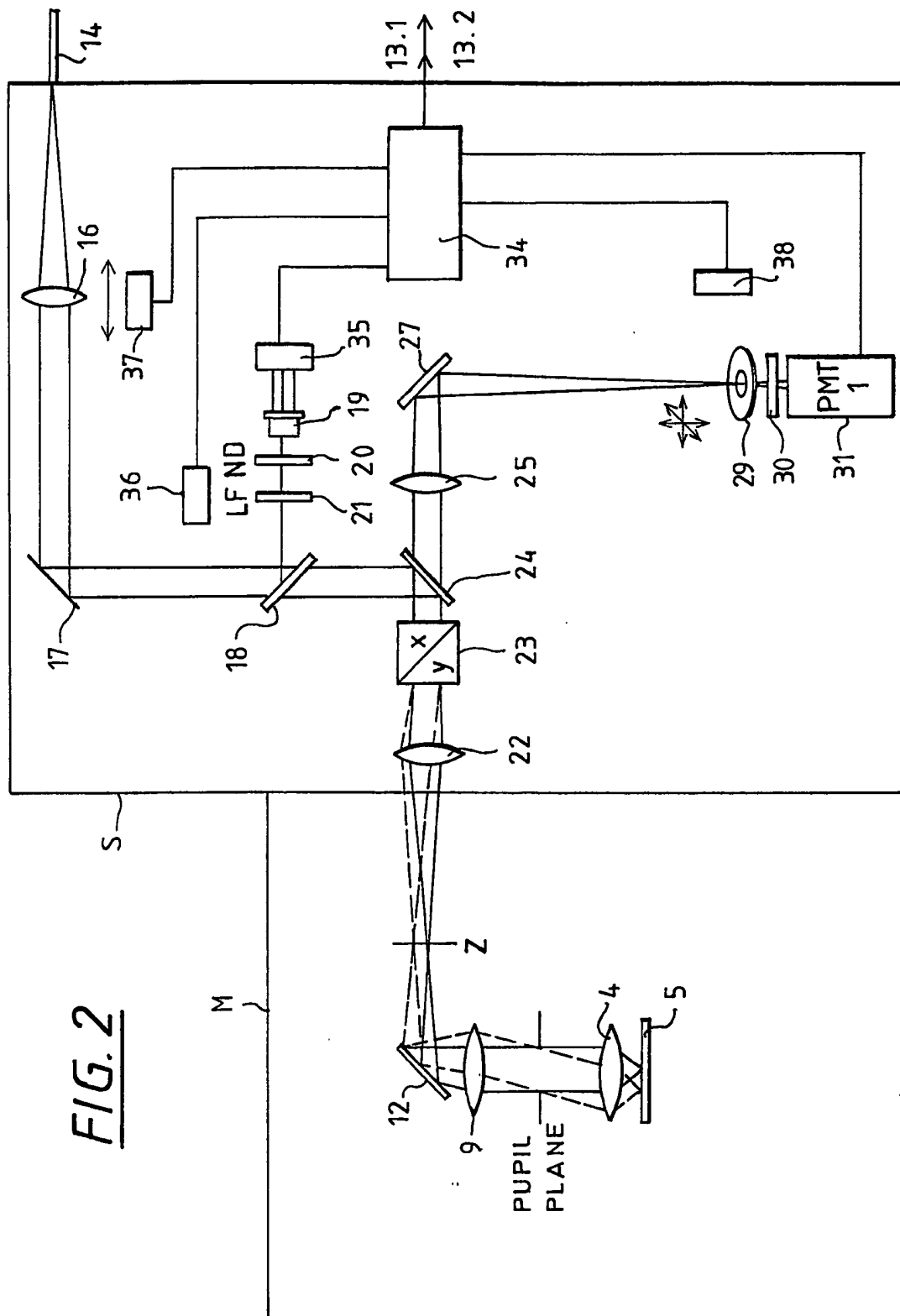


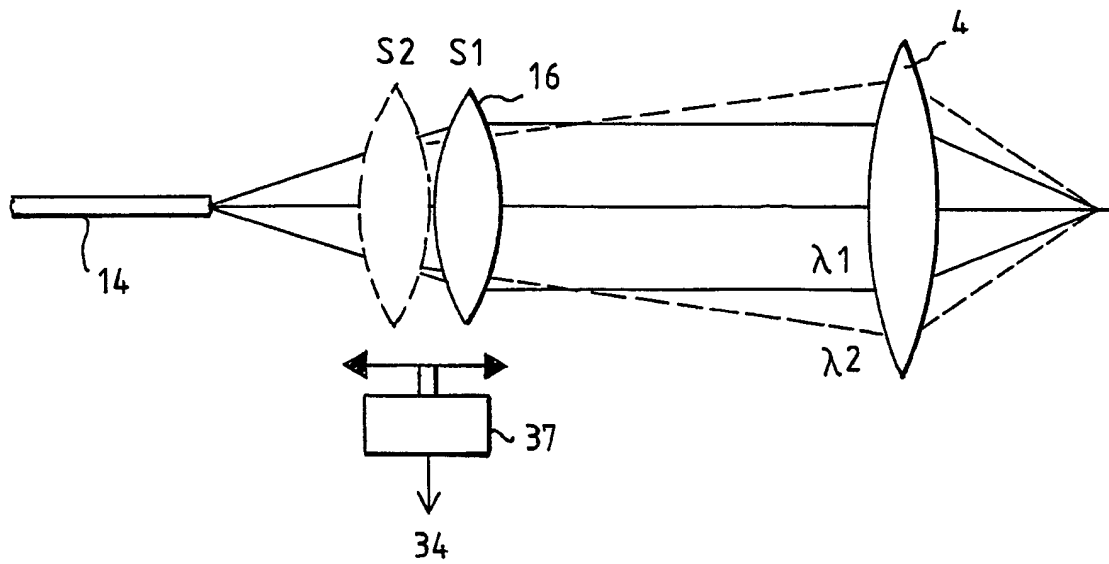
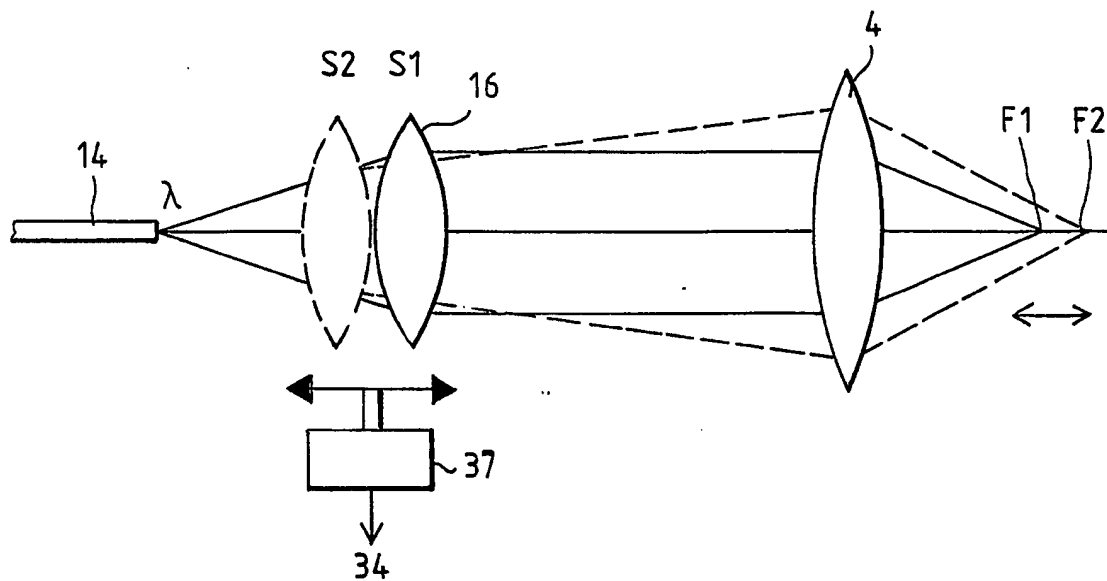
FIG. 3aFIG. 3b



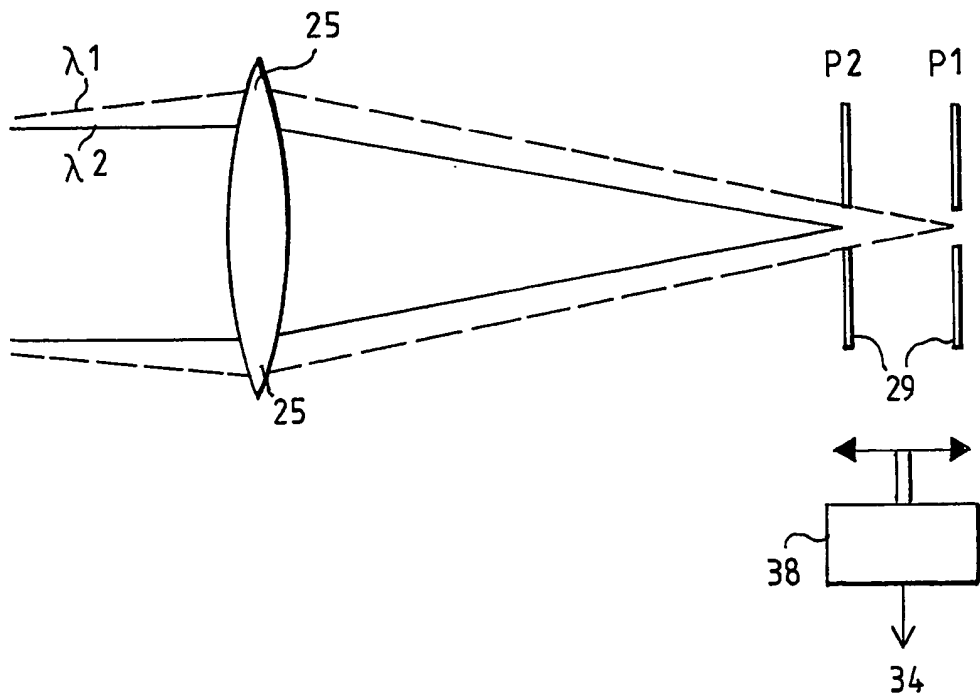
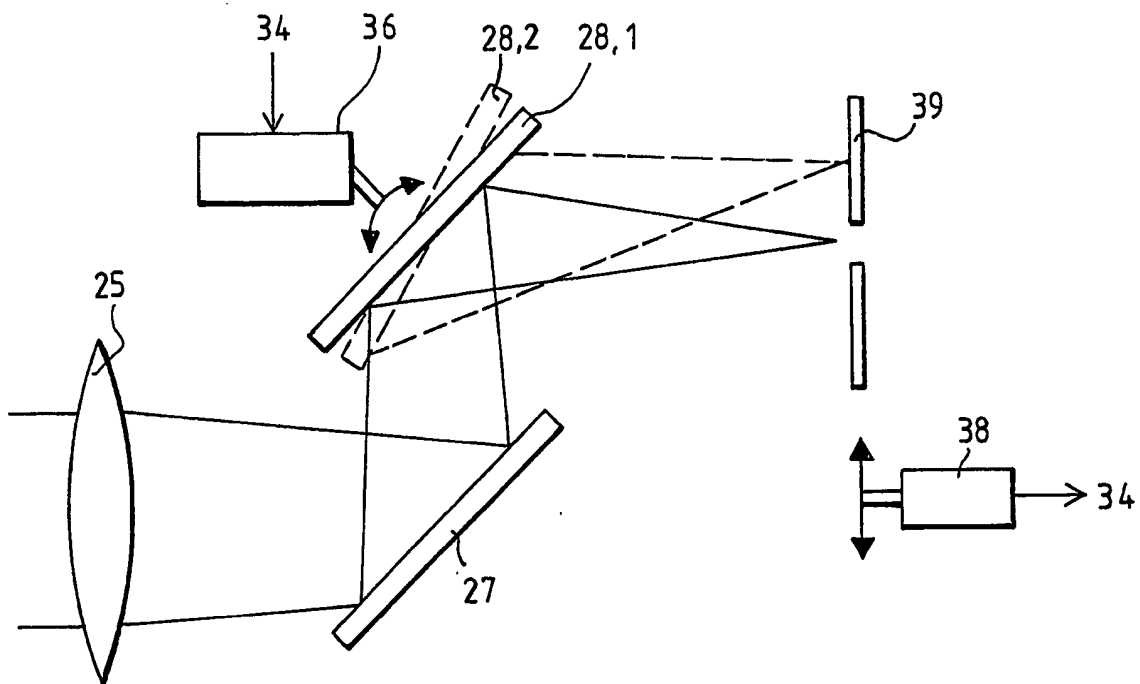
FIG. 4FIG. 5

FIG. 6

